

TK-1-499 改5
平成30年6月25日
日本原子力発電株式会社

原子炉建屋基礎盤の耐震評価

平成30年6月25日
日本原子力発電(株)

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

1. 概要

<本論点の経緯>

原子炉棟基礎をSクラスの設備として整理したうえで、終局耐力としての荒川mean式の適用性、応力平均化の適用性について、安全余裕の説明方針を示した。

<コメント>許容限界としてせん断終局強度を適用することの妥当性について、今回の工認と東二建設時の設計クライテリア、他サイトSクラスの設計クライテリアを比較し、再整理すること。

◆説明概要

1. 耐震重要度分類の設定

- ・ 原子炉棟基礎の耐震重要度分類について、①建設時の考え方、②新規制基準の考え方、③H18年耐震設計審査指針適用プラントの実績、④新規制基準適合プラントの実績、を整理し、Sクラス設備の間接支持構造物として整理する。

2. 荒川mean式を適用することの妥当性

- ・ 原子炉棟基礎の構造仕様、応力状態を踏まえると荒川mean式は許容限界として適用することは妥当である。
- ・ 基礎スラブの実験と荒川mean式の比較により、荒川mean式が基礎スラブに対して保守性を有することを確認した。
- ・ 人工岩盤を考慮した応力解析による発生応力は、先行プラントと同様の短期許容応力度以下となることを確認した。

原子炉建屋基礎盤の耐震重要度分類と耐震設計方針

原子炉建屋基礎盤は耐震設計上の位置づけとして3つの領域に区分される。

表1 原子炉建屋基礎盤の領域と分類

記号	部位	耐震重要度分類	間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力に対する耐震設計方針
A	原子炉格納容器 底部コンクリートマット	・Sクラスの設備 (原子炉格納容器)	Sクラスの設備の 間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力と地震力以外の荷重の組合せに対して、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有すること。
B	原子炉棟基礎	・Cクラス	Sクラスの設備の 間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力により発生する応力が、JEAG4601の規定、既往の研究等において試験・解析等により妥当性が確認されたものを参考に設定されている許容限界を超えていないこと。
C	付属棟基礎	・Cクラス	Sクラスの設備の 間接支持構造物	

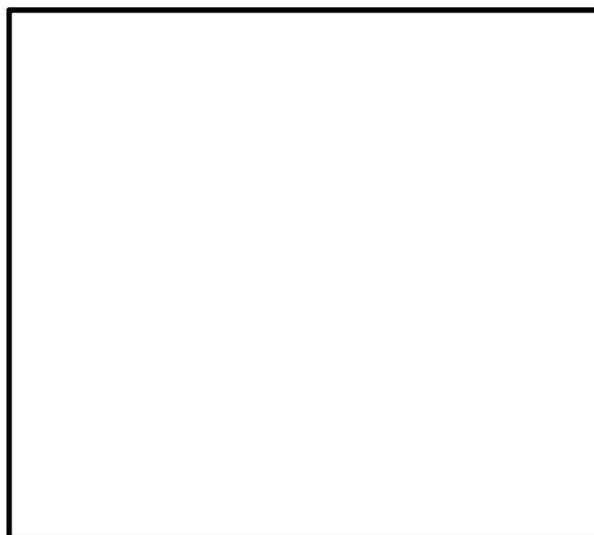


図1 原子炉建屋概略平面図

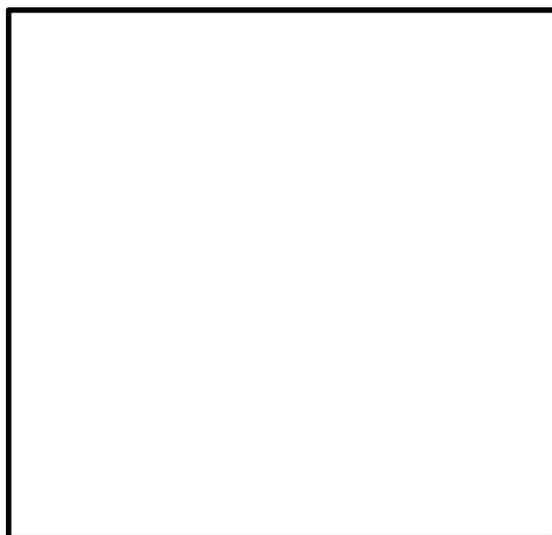
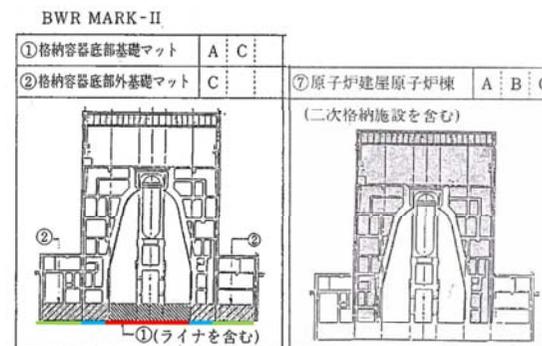


図2 原子炉建屋概略断面図(A-A断面)

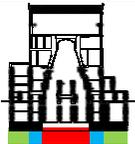
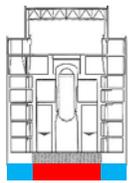
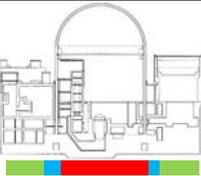
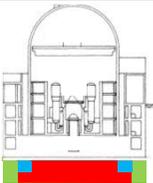
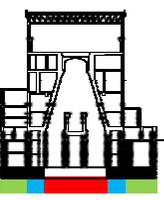
底部コンクリートマットについては比較的余裕が大きい見通しが得られており、余裕の小さい原子炉棟基礎及び付属棟基礎(S_s 地震時)について説明する。



A: 耐漏洩機能
B: 波及事故防止機能
C: 支持機能

原子炉建屋の基礎の耐震重要度分類とクライテリアの整理

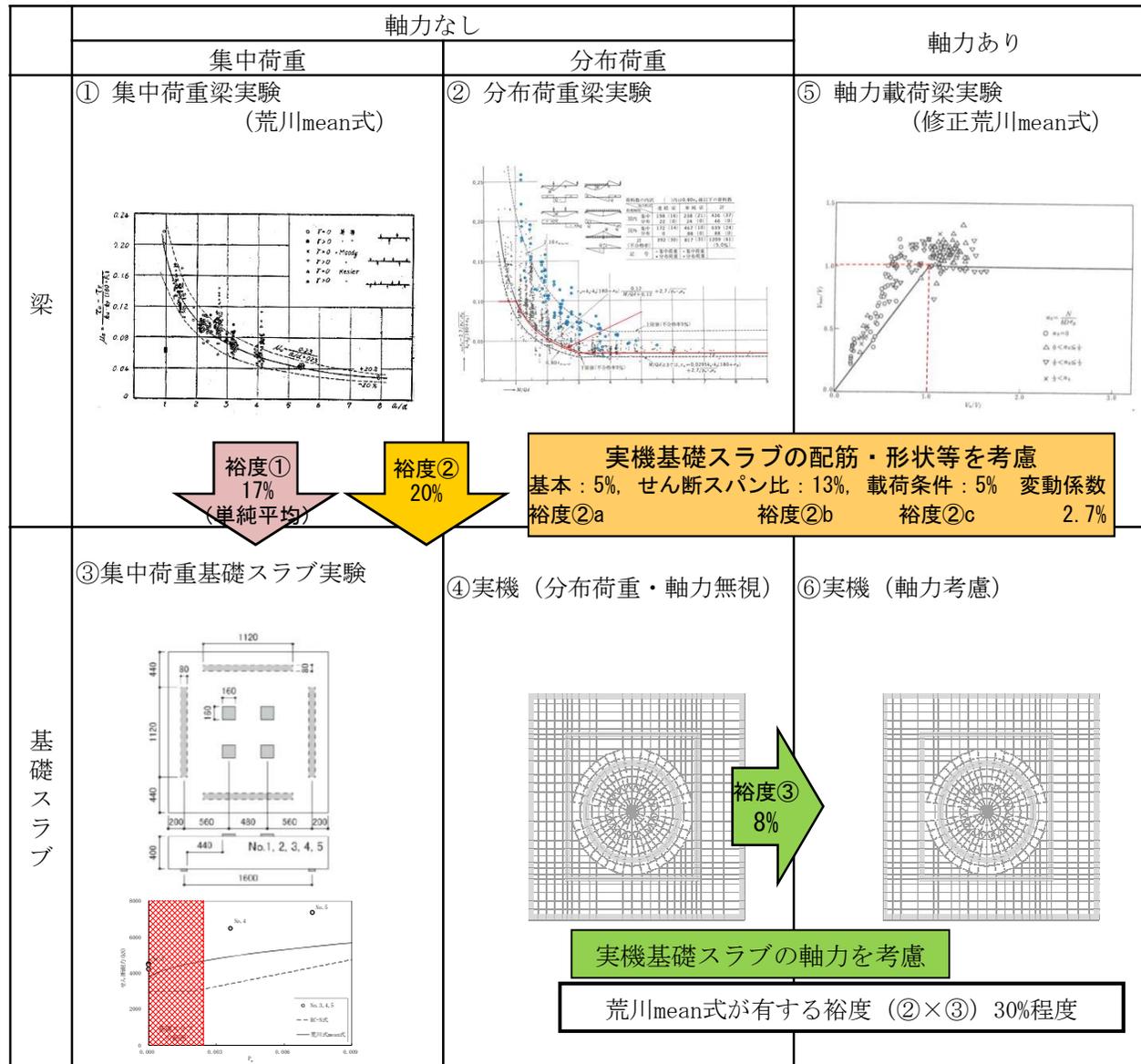
表 原子炉建屋の基礎の耐震重要度分類(上段)及びSs地震時の許容限界(下段)の比較と重要度分類の考え方

サイト炉型	基礎の区分	格納容器の底部	原子炉棟基礎 アニュラス基礎	左記以外の 領域	重要度分類の考え方
東海第二 (建設時) BWR MARK-II *2		Asクラス	Aクラス*1	Aクラス*1	耐震設計審査指針制定前に建設されており、建屋ごとに重要度分類を設定することを原則としており、原子炉建屋であれば建屋全体をAクラス(原子炉格納容器を構成する底部コンクリートマットはAsクラス)に分類している。
		降伏しない*3	評価なし	評価なし	
大間1号 ABWR		Sクラス	Sクラス*4 (二次格納施設 基礎スラブ)	—	耐震設計審査指針(平成18年)適用プラントであり、建設時の設計においては、建屋全体にあるクラスに相当する地震力を設定することがあり、Sクラスの原子炉格納容器底部に対し、底部以外の基礎(二次格納施設基礎スラブ)についても、底部との連続性を考慮して底部と同様の方法で検討されている。二次格納施設基礎スラブについては、その機能からはSクラスとなるものではないが、設計上の扱いとしてSクラスと設定したものと解釈できる。
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	CCV規格 荷重 状態IVにおけ る許容値*4	—	
玄海3/4号 PWR		Sクラス	間接支持構造 物	間接支持構 造物	新規制基準適用プラントであり、規制要求に対応し、主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に区分されている。 ⇒原子炉格納容器底部をSクラスとし、その周辺部はSクラス設備の間接支持構造物としている。アニュラス区画構造物の基礎は、玄海ではSクラス設備の間接支持構造物、大飯では原子炉格納容器底部の一部としてSクラスとして分類されている。
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	RC-N 短期 許容応力度	RC-N 短期 許容応力度	
大飯3/4号 PWR		Sクラス	Sクラス (格納容器底部 に含む)	間接支持構 造物	上記と同じであり、具体的には玄海3/4号と同じ区分となっている。面外せん断力に対する許容限界として、大間、大飯、玄海が短期許容応力度としていることに対し、東海では終局強度を適用することから、その適用性について検討を行う。*6 (建設工認において、Aクラスとして設計(180Galの地震動による地震力及び静的地震力に対し弾性設計)していたことを踏まえ、今回工認においてもSd地震時に対する評価を実施する。)
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	CCV規格 荷重 状態IVにおけ る許容値	RC-N 終局耐力*5	
東海第二 (今回) BWR MARK-II		Sクラス	間接支持構造 物	間接支持構 造物	上記と同じであり、具体的には玄海3/4号と同じ区分となっている。面外せん断力に対する許容限界として、大間、大飯、玄海が短期許容応力度としていることに対し、東海では終局強度を適用することから、その適用性について検討を行う。*6 (建設工認において、Aクラスとして設計(180Galの地震動による地震力及び静的地震力に対し弾性設計)していたことを踏まえ、今回工認においてもSd地震時に対する評価を実施する。)
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	終局強度 (荒川mean式)	終局強度 (荒川mean式)	

*1 建屋全体をAクラスとして設計している。 *2 機能維持確認用の「0.27g地震」に対する許容限界を示す。 *3 結果として短期許容応力度に収まっており、具体的な許容限界は記載されていない。 *4 底部との連続性を考慮して底部と同様の方法で評価している。 *5 面外せん断力は短期許容応力度と同じ。

*6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の既工認では、Asクラスの貯蔵容器の間接支持構造物として、S2地震時に対して修正荒川mean式を適用した実績がある。

終局強度(荒川mean式)を適用した場合の裕度の整理



裕度④
人工岩盤を考慮することによる裕度
(応力が大きい範囲において30%程度)

裕度⑤
実強度による裕度
(実強度を小さく見積もった場合
において10%程度)

基礎スラブの実験に基づく荒川mean式の裕度

表 3-1 実験結果と荒川 mean 式の比較

試験体 No.	主筋比 P_t (%)	せん断補強筋比 P_v (%)	せん断スパン比 a/d	最大荷重 Q (kN)	荒川 mean 式 Q_0 (kN)	耐力比 Q/Q_0	耐力比 (平均) Q/Q_0
1-1	0.79	0	1.56	3706	3275	1.13	1.12
1-2				3673		1.12	
1-3				3614		1.10	
2-1	0.46	0	1.56	3010	2995	1.00	1.05
2-2				3237		1.08	
2-3				3234		1.08	
3-1	1.14	0	1.56	4533	3575	1.27	1.23
3-2				4462		1.25	
3-3				4221		1.18	
4	1.14	0.36	1.56	6485	4918	1.32	—
5	1.14	0.73	1.56	7372	5470	1.35	—
6-1	0.79	0	1.22	6018	4474	1.35	1.27
6-2				5759		1.29	
6-3				5214		1.17	
7-1	0.79	0	1.89	2407	2328	1.03	1.02
7-2				2414		1.04	
7-3				2322		1.00	
8-1	0.79	0	1.56	3902	3290	1.19	1.18
8-2				3915		1.19	
8-3				3819		1.16	
					平均	1.17	

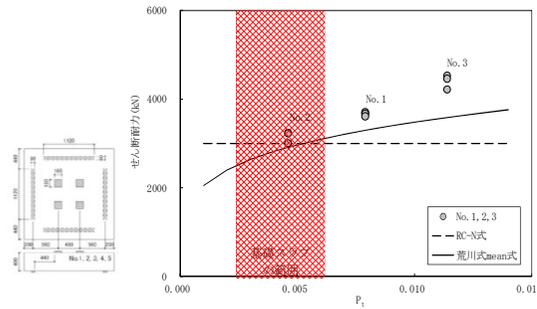
実験の基本ケースNo.1に対し、基礎盤の条件を踏まえた耐力への効果を整理し、裕度を算定する。

$$1.12 \times 0.94 \times 1.13 \times 1.05 \doteq 1.24$$

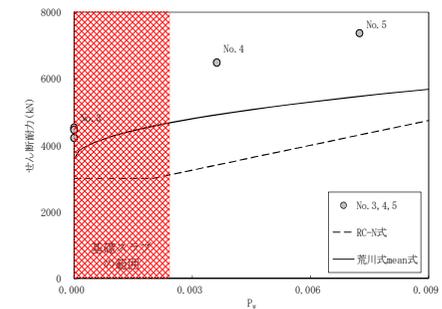
No.1 (基本ケース) (No.2/No.1) 主筋量 (No.6/No.1) せん断スパン比 (No.8/No.1) 支持形式

$$1.24 \times (100-2.7)/100 \doteq 1.2$$

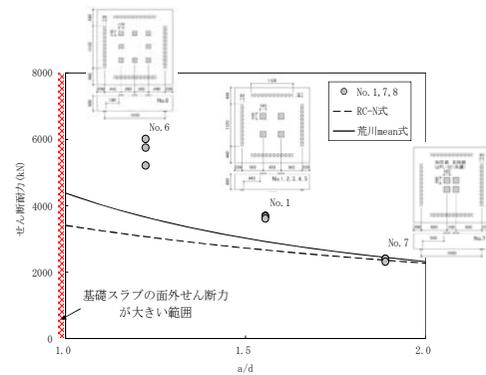
基礎盤の耐力は荒川mean式に対し1.2倍程度の裕度がある。



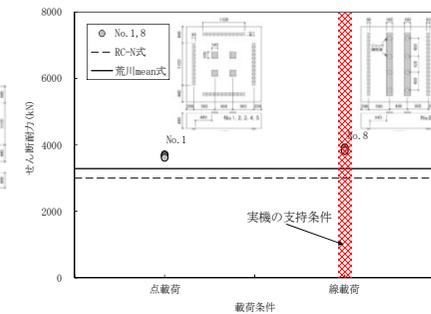
主筋比が小さいほうが、耐力が小さくなる。
せん断スパン比の効果 No.2/No.1=0.94



せん断補強筋が多いほうが、耐力が大きくなる。
せん断補強筋の効果は保守的に無視する。



せん断スパン比が小さいほうが耐力が大きくなる。
原子炉棟の応力集中部ではM/Qdが0.8程度であり、
保守的にNo.6で代用する。
せん断スパン比の効果 No.6/No.1=1.13



点支持よりも線支持のほうが耐力が大きくなる。
支持方法の効果 No.8/No.1=1.05

実験のばらつきに対する信頼性 変動係数2.7%

追而

- ・ 軸力の効果
- ・ 人工岩盤を考慮した応力低減の効果
- ・ 実強度の効果
- ・ まとめ